

Rec'd PCT/PTO

14 MAR 2005

METHOD FOR LASER WELDING OF RESIN MEMBER

Patent number: JP2004058581
Publication date: 2004-02-26
Inventor: TERASAWA WATARU; NAKAMURA HIDEO;
ISHIMARU YOICHI
Applicant: TOYOTA MOTOR CORP
Classification:
- **International:** B29C65/16
- **European:**
Application number: JP20020222976 20020731
Priority number(s):

Abstract of JP2004058581

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for laser welding of a resin member which does not generate inferior welding.

SOLUTION: The method for laser welding is a method wherein an interface where a transmissible resin material consisting of a transmissible resin transmitting to a laser light as a heating source is brought into contact with a non-transmissible resin material consisting of a non-transmissible resin non-transmissible to the laser light is heat-melted and welded from the transmissible resin member side by irradiating it with the laser light. It is possible by the method for laser welding of the resin member to perform laser welding of the resin member by one welding process suppressing generation of inferior welding.

Data supplied from the esp@cenet database - Patent Abstracts of Japan

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-58581

(P2004-58581A)

(43) 公開日 平成16年2月26日(2004. 2. 26)

(51) Int. Cl.⁷
B29C 65/16F1
B29C 65/16テーマコード (参考)
4F211

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2002-222976 (P2002-222976)	(71) 出願人	000003207
(22) 出願日	平成14年7月31日 (2002. 7. 31)		トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町1番地
		(74) 代理人	100081776
			弁理士 大川 宏
		(72) 発明者	寺澤 亘
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
			車株式会社内
		(72) 発明者	中村 秀生
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
			車株式会社内
		(72) 発明者	石丸 洋一
			愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動
			車株式会社内
		Fターム(参考)	4F211 AC04 AD05 AD24 AD25 AG24
			TA01 TD07 TN27 TQ01 TQ03

(54) 【発明の名称】 樹脂部材のレーザー溶着方法

(57) 【要約】

【課題】溶着不良を生じない樹脂部材の溶着方法を提供すること。

【解決手段】本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、加熱源としてのレーザー光に対して透過性のある透過樹脂よりなる透過樹脂材と、レーザー光に対して透過性のない非透過樹脂よりなる非透過樹脂材との当接界面を、透過樹脂材側からのレーザー光の照射により加熱溶融させて溶着するレーザー溶着方法を利用している。本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、一つの溶着工程で溶着不良の発生を抑えられた樹脂部材をレーザー溶着することができる。

【選択図】 なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

加熱源としてのレーザー光に対して透過性のある透過樹脂よりなる透過樹脂材と、該レーザー光に対して透過性のない非透過樹脂よりなる非透過樹脂材との当接界面を、該透過樹脂材側からの該レーザー光の照射により加熱溶融させて溶着する樹脂部材のレーザー溶着方法であって、

該非透過樹脂よりなる溶着樹脂を該レーザー光の光線中に配して加熱溶融し、該溶着樹脂の熔融液を両樹脂材の当接端部に供給することを特徴とする樹脂部材のレーザー溶着方法。

【請求項 2】

前記透過樹脂材の前記当接端部に嵌合凸部が設けられるとともに、前記非透過樹脂材の前記当接端部に該嵌合凸部が挿入可能な嵌合凹部が設けられ、

該嵌合凹部を形成する一对の対向壁部のうちの一方の壁部が該嵌合凸部の一方の表面部と溶着され、該嵌合凹部の他の壁部と該嵌合凸部の他方の表面部とが前記溶着樹脂の前記熔融液が貯留される貯留部を区画する請求項 1 記載の樹脂部材のレーザー溶着方法。

【請求項 3】

前記溶着樹脂は、前記透過樹脂材および前記非透過樹脂材の表面から小間隔を隔てた位置で前記レーザー光の光線中に配される請求項 1 記載の樹脂部材のレーザー溶着方法。

【請求項 4】

前記溶着樹脂は、前記当接端部に当接した状態であらかじめ配された請求項 1 記載の樹脂部材のレーザー溶着方法。

【請求項 5】

前記溶着樹脂は、線状を有する請求項 1 記載の樹脂部材の溶着方法。

【請求項 6】

前記溶着樹脂は、粉末状を有する請求項 1 記載の樹脂部材の溶着方法。

【請求項 7】

加熱源としてのレーザー光に対して透過性のある透過樹脂よりなる透過樹脂材と、該レーザー光に対して透過性のない非透過樹脂よりなる非透過樹脂材との当接界面を、該透過樹脂材側からの該レーザー光の照射により加熱溶融させて溶着するレーザー溶着方法を利用して、該透過樹脂材と該非透過樹脂材との該当接界面に該レーザー光を走査して該透過樹脂材と該非透過樹脂材とを溶着する樹脂部材のレーザー溶着方法であって、

該当接界面の該レーザー光が照射された照射部の近傍でありかつ該レーザー光の走査する方向の前方及び後方で該透過樹脂材と該非透過樹脂材とが圧接されていることを特徴とする樹脂部材のレーザー溶着方法。

【請求項 8】

各前記当接端部には、前記透過樹脂材と前記非透過樹脂材が押圧される方向に対して略垂直な方向に突出したフランジ部が形成され、

該透過樹脂材の該フランジ部には嵌合凸部がもうけられるとともに、該非透過樹脂材の該フランジ部には該嵌合凸部が嵌合可能な嵌合凹部がもうけられた請求項 7 記載の樹脂部材のレーザー溶着方法。

【請求項 9】

前記透過樹脂材の前記フランジ部の前記嵌合凸部の形成された表面に背向した表面および／または前記非透過樹脂材の前記フランジ部の前記嵌合凹部の形成された表面に背向した表面に断面凹字状の溝が形成され、

レーザー光を照射するときに該透過樹脂材と該非透過樹脂材を押圧する押圧部材が、該溝の内部を走行するローラーを有する請求項 8 記載の樹脂部材のレーザー溶着方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、樹脂部材のレーザー溶着方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、軽量化及び低コスト化等の観点より、自動車部品等、各種分野の部品を樹脂化して樹脂成形品とすることが頻繁に行われている。そして、樹脂成形品は、高生産性化等の観点から、樹脂成形品を予め複数の樹脂部材に分割して成形し、これらの樹脂部材を互いに接合して製造する手段が採られることが多くなっている。

【0003】

そして、樹脂部材同士を接合する接合方法には、レーザー溶着方法が利用されている。レーザー溶着は、レーザー光に対して透過性のある透過樹脂材と、レーザー光に対して透過性のない非透過樹脂材とを重ね合わせた後、透過樹脂材側からレーザー光を照射することにより、透過樹脂材と非透過樹脂材との当接面同士を加熱溶融させて両者を一体的に接合する方法である。

10

【0004】

このレーザー溶着方法においては、透過樹脂材内を透過したレーザー光が非透過樹脂材の当接面に到達して吸収され、この当接面に吸収されたレーザー光がエネルギーとして蓄積される。その結果、非透過樹脂材の当接面が加熱溶融されるとともに、この非透過樹脂材の当接面からの熱伝達により透過樹脂材の当接面が加熱溶融される。この状態で、透過樹脂材及び非透過樹脂材の当接面同士を圧着させることで、両者が一体的に接合される。

【0005】

ところで、上記したようなレーザー溶着では、透過樹脂材および非透過樹脂材の当接面同士を確実に溶着させて十分な接合強度を得るためには、透過樹脂材および非透過樹脂材の当接面同士の隙間を極力小さくまたは無しにする必要がある。当接面に隙間があると、非透過樹脂材の当接面における発熱が透過樹脂材の当接面に熱伝達されにくくなる。そして、透過樹脂材の当接面における加熱溶融が不十分となって、非透過樹脂材と透過樹脂材との当接面同士が十分に溶着しなくなる。

20

【0006】

さらに、非透過樹脂材と透過樹脂材との当接面に隙間が存在すると、レーザー溶着により溶着が行われても、十分な溶着強度が得られないという問題がある。詳しくは、非透過樹脂材と透過樹脂材との当接面に隙間が存在した状態でレーザー溶着が行われると、非透過樹脂材が溶融したときの溶融膨張により隙間が埋められて溶着される。すなわち、非透過樹脂材の見かけ密度が低下している。このため、溶着強度が低下する。そして、当接面における隙間量が増加するにしたがって、溶着強度が低下するようになる。この当接面隙間量と溶着強度の関係を図9に示した。

30

【0007】

そして、当接面の隙間は、樹脂部材の形状が複雑になったり、樹脂部材の大きさが大きくなったりすると、生じやすくなる。樹脂部材の形状が複雑になると、当接面が複雑な形状となり溶着時に圧接しにくくなる。また、樹脂部材の大きさが大きくなると、樹脂部材の表面にそりやうねりあるいはねじれが生じるようになり、当接面にずれが生じるようになり、このずれにより隙間が生じるようになる。

【0008】

【発明を解決しようとする課題】

本発明は上記実状に考えてなされたものであり、溶着不良を生じない樹脂部材の溶着方法を提供することを課題とする。

40

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために本発明者らは樹脂部材の当接面に非透過樹脂の溶融液を供給して隙間を埋めることで上記課題を解決できることを見いだした。

【0010】

すなわち、本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、加熱源としてのレーザー光に対して透過性のある透過樹脂よりなる透過樹脂材と、レーザー光に対して透過性のない非透過樹

50

脂よりなる非透過樹脂材との当接界面を、透過樹脂材側からのレーザー光の照射により加熱溶解させて溶着する樹脂部材のレーザー溶着方法であって、非透過樹脂よりなる溶着樹脂をレーザー光の光線中に配して加熱溶解し、溶着樹脂の溶解液を両樹脂材の当接部に供給することを特徴とする。

【0011】

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、溶着樹脂の溶解液が樹脂材の当接部に供給され、この当接部において溶解液が凝固することで両樹脂材の当接部をシールする。さらに、樹脂材の界面に隙間が生じている時には、この隙間に溶解液が侵入して隙間を埋めることで溶着不良の発生を押さえることができる。

【0012】

また、上記課題を解決する他の方法としては、樹脂材のレーザー光が照射された樹脂材の当接部の近傍を押圧することで、隙間の発生を押さえることができることを見いだした。

【0013】

すなわち、本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、加熱源としてのレーザー光に対して透過性のある透過樹脂よりなる透過樹脂材と、レーザー光に対して透過性のない非透過樹脂よりなる非透過樹脂材との当接界面を、透過樹脂材側からのレーザー光の照射により加熱溶解させて溶着するレーザー溶着方法を利用して、透過樹脂材と非透過樹脂材との当接界面にレーザー光を走査して透過樹脂材と非透過樹脂材とを溶着する樹脂部材のレーザー溶着方法であって、当接界面のレーザー光が照射された照射部の近傍でありかつレーザー光の走査する方向の前方及び後方で透過樹脂材と非透過樹脂材とが圧接されていることを特徴とする。

【0014】

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、レーザー光が照射された照射部の近傍において透過樹脂材と非透過樹脂材とを圧接させることで、レーザー光が照射された照射部における透過樹脂材と非透過樹脂材との密着性を確保している。また、本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、一つの溶着工程で溶着不良の発生を抑えられた樹脂部材をレーザー溶着することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】

（第一発明）

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、加熱源としてのレーザー光に対して透過性のある透過樹脂よりなる透過樹脂材と、レーザー光に対して透過性のない非透過樹脂よりなる非透過樹脂材との当接界面を、透過樹脂材側からのレーザー光の照射により加熱溶解させて溶着する樹脂部材のレーザー溶着方法である。

【0016】

このレーザー溶着は、透過樹脂材内を透過したレーザー光が非透過樹脂材の当接面に到達して吸収され、この当接面に吸収されたレーザー光がエネルギーとして蓄積される。その結果、非透過樹脂材の当接面が加熱溶解されるとともに、この非透過樹脂材の当接面からの熱伝達により透過樹脂材の当接面が加熱溶解される。この状態で、透過樹脂材及び非透過樹脂材の当接面同士を圧着させて、両者を一体的に接合する。こうして得られた接合部では、接合面同士が溶解されて接合されており、接合面同士の間では両樹脂材を構成する両樹脂が溶解して互いに入り込み絡まった状態が形成されているため、強固な接合状態を構成して高い接合強度及び耐圧強度を有している。

【0017】

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、非透過樹脂よりなる溶着樹脂をレーザー光の光線中に配して加熱溶解し、溶着樹脂の溶解液を両樹脂材の当接部に供給する。溶着樹脂を当接界面を照射しているレーザー光の光線中に配すると、溶着樹脂が非透過樹脂よりなることから、溶着樹脂はレーザー光により加熱される。そして、溶着樹脂は溶解する。そして、溶解により生じた溶着樹脂の溶解液は、両樹脂材の当接部に供給される。当接界面に供給された溶解液は、両樹脂材の当接部における両樹脂の絡み合いと同様に、当接部の樹

10

20

30

40

50

脂と絡み合った状態が形成される。この結果、両樹脂材のシール性が向上する。

【0018】

さらに、当接界面に隙間が生じていたときには、当接界面に供給された溶着樹脂の熔融液がこの隙間に侵入する。隙間に熔融液が侵入することで、隙間が埋められて、溶着不良の発生が抑えられる。また、隙間に熔融液が侵入すると、熔融液自身の熱により透過樹脂材への加熱が行われ、両樹脂材の溶着不良の発生が抑えられる。

【0019】

透過樹脂材と非透過樹脂材の当接端部の外周部には、供給された熔融液を貯留する貯留部が区画されたことが好ましい。貯留部がもうけられることで、供給された熔融液が当接端部から流失しなくなり、当接端部に十分な溶着樹脂が供給される。この結果、両樹脂材の接合強度の低下が抑えられる。

10

【0020】

本発明の溶着方法において、透過樹脂材の当接端部に嵌合凸部が設けられるとともに、非透過樹脂材の当接端部に嵌合凸部が挿入可能な嵌合凹部が設けられている。樹脂材の当接端部に嵌合凹部及び嵌合凸部がもうけられることで、両樹脂材の位置決めを簡単に行うことができる。また、嵌合凹部と嵌合凸部とが当接端部に形成されることで、嵌合凹部に嵌合凸部を挿入して嵌合凸部の表面部と嵌合凹部の壁部とで溶着させることができるようになり、樹脂材同士の溶着面積が増大する。溶着面積が増加すると、樹脂材の溶着強度が増加する。

【0021】

そして、嵌合凹部に嵌合凸部が挿入されて、嵌合凸部の一方の表面部が嵌合凹部の一方の壁部と密着したときに、嵌合凹部の他の壁部と嵌合凸部の他方の表面部とにより溶着樹脂の熔融液が貯留される貯留部が区画されることが好ましい。貯留部が区画されることで、溶着樹脂の熔融液を当接端部に保持できる。

20

【0022】

すなわち、透過樹脂材の当接端部に嵌合凸部が設けられるとともに、非透過樹脂材の当接端部に嵌合凸部が挿入可能な嵌合凹部が設けられ、嵌合凹部を形成する一对の対向壁部のうちの一方の壁部が嵌合凸部の一方の表面部と溶着され、嵌合凹部の他の壁部と嵌合凸部の他方の表面部とが溶着樹脂の熔融液が貯留される貯留部を区画することが好ましい。

【0023】

非透過樹脂材の当接端部に設けられた嵌合凹部は、嵌合凹部を形成する一对の対向壁部の他方の壁部は一方の壁部よりも低い高さで形成されていることが好ましい。高さの低い方の対向壁部側からレーザー光を照射することにより、照射されたレーザー光が非透過樹脂材（レーザー光が照射される側の対向壁部）で遮られることを抑えることができる。

30

【0024】

溶着樹脂は、透過樹脂材および非透過樹脂材の表面から小間隔を隔てた位置でレーザー光の光線中に配されることが好ましい。溶着樹脂が樹脂材の表面から小間隔を隔てた位置のレーザー光の光線中に配されることで、当接端部に照射されるレーザー光のロスを抑えることができる。

【0025】

詳しくは、レーザー光の光線中に溶着樹脂を配すると、この溶着樹脂に照射されたレーザー光は溶着樹脂に吸収される。このとき、溶着樹脂に照射されないレーザー光は、そのまま、樹脂材の当接端部に照射される。そして、当接端部に照射されたレーザー光には、溶着樹脂に対応する影が生じるようになる。当接端部のこの影に対応した部位には、照射されたレーザー光のエネルギーが供給されない。そして、本発明において溶着樹脂が透過樹脂材および非透過樹脂材の表面から小間隔を隔てた位置でレーザー光の光線中に配されることで、この影となる部分の増加を抑えることができる。具体的には、溶着時にレーザー光の光線中に配される溶着樹脂を制御することで、当接端部に供給される溶着樹脂の熔融液量を調節でき、所望の熔融液量が供給された段階で、溶着樹脂をレーザー光の光線からはずして、溶着に十分なレーザー光の照射を行うことができる。

40

50

【0026】

なお、溶着樹脂が配される透過樹脂材および非透過樹脂材の表面から小間隔を隔てた位置とは、レーザー光により溶融した溶着樹脂が溶融した状態で当接端部に供給される位置を示す。好ましくは、レーザー光が照射された当接端部の鉛直上方である。

【0027】

溶着樹脂は、当接端部に当接した状態であらかじめ配されたことが好ましい。すなわち、あらかじめ溶着樹脂が当接端部に配されたことで、溶着樹脂の溶融液の熱のロスが生じないだけでなく、溶融液の移動（流動）時に大気中等の不純物が混入することが抑えられる。さらに、溶着樹脂を当接端部に当接した状態でレーザー光を照射するため、焦点位置が近いレーザー光を照射でき、エネルギーの損失を抑えることができる。

10

【0028】

上述の当接端部の貯留部に溶着樹脂をあらかじめ配することが好ましい。

【0029】

溶着樹脂の形態は、特に限定されるものではない。たとえば、線状、粉末状をあげることができる。

【0030】

溶着樹脂は、線状を有することが好ましい。溶着樹脂が線状を有することで、簡単にレーザー光の光線中に溶着樹脂を配することができる。さらに、線状を有することで、溶着樹脂のレーザー光の照射量（溶着樹脂の溶融量）を制御できるようになる。詳しくは、レーザー光により溶融した溶着樹脂の溶融液が当接端部に十分に供給されたときには、溶着樹脂を光線中から取り出すことで溶融液量を制御できる。線状の溶着樹脂は、その太さがレーザー光の光線より細いことが好ましい。

20

【0031】

溶着樹脂は、粉末状を有することが好ましい。粉末状の溶着樹脂は、溶着樹脂を溶融させるための加熱時間を短縮できる。すなわち、溶着樹脂を溶融させるための時間が短縮することは、すぐに樹脂材の溶融が行われることを示す。すなわち、樹脂材の加熱ムラが生じにくくなる。さらに、溶着樹脂が厚みを有する固体よりなると、レーザー光が照射されても裏面側にレーザー光のエネルギーが到達するまでにタイムラグが生じ、レーザー光が当たる表面側は裏面側より高温になる。すなわち、温度差が生じ、温度差が大きくなりすぎると溶着樹脂の材質によっては熱による分解が生じる。また、溶着樹脂は、粉末状を有していればよく、溶着樹脂粉末の形態だけでなく、溶着樹脂粉末が所望の分散媒に分散してなるペーストの形態であってもよい。

30

【0032】

本発明の溶着方法において、非透過樹脂材に用いる樹脂の種類としては、熱可塑性を有し、加熱源としてのレーザー光を透過させずに吸収しうるものであれば特に限定されない。たとえば、ナイロン6（PA6）やナイロン66（PA66）等のポリアミド（PA）、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、スチレン-アクリロニトリル共重合体、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリスチレン、ABS、アクリル（PMMA）、ポリカーボネート（PC）、ポリブチレンテレフタレート（PBT）、PPS等に、カーボンブラック、染料や顔料等の所定の着色材を混入したものをあげることができる。なお、必要に応じて、ガラス繊維、カーボン繊維等の補強繊維を添加したものを用いてもよい。

40

【0033】

透過樹脂材に用いる樹脂の種類としては、熱可塑性を有し、加熱源としてのレーザー光を所定の透過率以上で透過せしめるものであれば特に限定されない。たとえば、ナイロン6（PA6）やナイロン66（PA66）等のポリアミド（PA）、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、スチレン-アクリロニトリル共重合体、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリスチレン、ABS、アクリル（PMMA）、ポリカーボネート（PC）、ポリブチレンテレフタレート（PBT）等を挙げることができる。なお、必要に応じて、ガラス繊維、カーボン繊維等の補強繊維や着色材を添加したものを用いてもよい

50

【0034】

非透過樹脂よりなる溶着樹脂に用いる樹脂としては、熱可塑性を有し、加熱源としてのレーザー光を透過させずに吸収しうるものであれば特に限定されない。たとえば、ナイロン6 (PA6) やナイロン66 (PA66) 等のポリアミド (PA)、ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、スチレン-アクリロニトリル共重合体、ポリエチレンテレフタレート (PET)、ポリスチレン、ABS、アクリル (PMMA)、ポリカーボネート (PC)、ポリブチレンテレフタレート (PBT)、PPS等に、カーボンブラック、染料や顔料等の所定の着色材を混入したものをあげることができる。なお、必要に応じて、ガラス繊維、カーボン繊維等の補強繊維を添加したものをを用いてもよい。

10

【0035】

また、透過樹脂材、非透過樹脂材および溶着樹脂に用いる樹脂の組合せについては、互いに相溶性のあるもの同士の組合せとされる。このような組合せとしては、ナイロン6同士やナイロン66同士等、同種の樹脂同士の組合せの他、ナイロン6とナイロン66との組合せ、PETとPCとの組合せやPCとPBTとの組合せ等を挙げることができる。

【0036】

レーザー光の種類としては、レーザー光を透過させる透過樹脂材の吸収スペクトルや板厚 (透過長) 等との関係で、透過樹脂材内での透過率が所定値以上となるような波長を有するものが適宜選定される。例えば、ガラス：ネオジム³⁺レーザー、YAG：ネオジム³⁺レーザー、ルビーレーザー、ヘリウム-ネオンレーザー、クリプトンレーザー、アルゴンレーザー、H₂レーザー、N₂レーザー、半導体レーザー等のレーザー光をあげることができる。より好ましいレーザーとしては、YAG：ネオジム³⁺レーザー (レーザー光の波長：1060nm) や半導体レーザー (レーザー光の波長：500～1000nm) をあげることができる。

20

【0037】

レーザー光の波長は、接合される樹脂材料により異なるため一概に決定できないが、1060nm以下であることが好ましい。波長が1060nmを超えると、接合面を互いに溶解させることが困難となる。

【0038】

また、レーザー光の出力は、50～900Wであることが好ましい。レーザー光の出力が50W未満では、出力が低く樹脂材料の接合面を互いに溶解させることが困難となり、900Wを超えると、出力が過剰となり樹脂材料が蒸発したり、変質するという問題が生じるようになる。

30

【0039】

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、溶着樹脂の熔融液が樹脂材の当接部に供給され、この当接部において熔融液が凝固することで両樹脂材の当接部をシールする。さらに、樹脂材の界面に隙間が生じている時には、この隙間に熔融液が侵入して隙間を埋めることで溶着不良の発生を抑えることができる。すなわち、本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、一つの溶着工程で溶着不良の発生を抑えられた樹脂部材をレーザー溶着することができる。

40

【0040】

(第二発明)

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、加熱源としてのレーザー光に対して透過性のある透過樹脂よりなる透過樹脂材と、レーザー光に対して透過性のない非透過樹脂よりなる非透過樹脂材との当接界面を、透過樹脂材側からのレーザー光の照射により加熱溶解させて溶着するレーザー溶着方法を利用して、透過樹脂材と非透過樹脂材との当接界面にレーザー光を走査して透過樹脂材と非透過樹脂材とを溶着する方法である。

【0041】

レーザー溶着は、透過樹脂材内を透過したレーザー光が非透過樹脂材の当接面に到達して吸収され、この当接面に吸収されたレーザー光がエネルギーとして蓄積される。その結果

50

、非透過樹脂材の当接面が加熱溶融されるとともに、この非透過樹脂材の当接面からの熱伝達により透過樹脂材の当接面が加熱溶融される。この状態で、透過樹脂材及び非透過樹脂材の当接面同士を圧着させて、両者を一体的に接合する。こうして得られた接合部では、接合面同士が溶融されて接合されており、接合面同士の間では両樹脂材を構成する両樹脂が溶融して互いに入り込み絡まった状態が形成されているため、強固な接合状態を構成して高い接合強度及び耐圧強度を有している。

【0042】

そして、透過樹脂材と非透過樹脂材との当接界面にレーザー光を走査することで、透過樹脂材と非透過樹脂材とが溶着した溶着部が長くなる。また、溶着部が長くなることで、透過樹脂材と非透過樹脂材との溶着強度が確保できる。

10

【0043】

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、当接界面のレーザー光が照射された照射部の近傍でありかつレーザー光の走査する方向の前方及び後方で透過樹脂材と非透過樹脂材とが圧接されている。レーザー光の走査方向の前方および後方において両樹脂材が圧接されたことで、レーザー溶着時に透過樹脂材と非透過樹脂材との位置のずれが生じなくなる。また、照射部の近傍で両樹脂材を圧接していることから、樹脂材全体を押圧しないため、両樹脂材の溶着精度の低下が抑えられる。なお、両樹脂材が圧接される照射部の近傍は、可能な限り近いほど好ましい。

【0044】

各当接端部には透過樹脂材と非透過樹脂材が圧接される方向に対して略垂直な方向に突出したフランジ部が形成され、透過樹脂材のフランジ部には嵌合凸部がもうけられるとともに、非透過樹脂材のフランジ部には嵌合凸部が嵌合可能な嵌合凹部がもうけられたことが好ましい。

20

【0045】

すなわち、各樹脂材の各当接端部のそれぞれにフランジ部を形成することで、このフランジ部を押圧することで、透過樹脂材と非透過樹脂材の当接端部を圧接することができる。ここで、フランジ部が突出する透過樹脂材と非透過樹脂材が圧接される方向に対して略垂直な方向とは、両樹脂材を押圧する押圧力に対して略垂直な方向を示す。また、各樹脂材のフランジ部の突出する方向は、ともに同じ方向であることが好ましい。

【0046】

また、透過樹脂材のフランジ部には嵌合凸部がもうけられるとともに、非透過樹脂材のフランジ部には嵌合凸部が嵌合可能な嵌合凹部がもうけられることで、溶着時に両樹脂材の位置決めを簡単に行うことができる。また、嵌合凹部と嵌合凸部とが当接端部に形成されることで、嵌合凹部に嵌合凸部を挿入して嵌合凸部の表面部と嵌合凹部の壁部とで溶着させることができるようになり、樹脂材同士の溶着面積が増大する。溶着面積が増加すると、樹脂材の溶着強度が増加する。

30

【0047】

非透過樹脂材の当接端部に設けられた嵌合凹部は、嵌合凹部を形成する一对の対向壁部の他方の壁部は一方の壁部よりも低い高さで形成されていることが好ましい。高さの低い方の対向壁部側からレーザー光を照射することにより、照射されたレーザー光が非透過樹脂材（レーザー光が照射される側の対向壁部）で遮られることを抑えることができる。

40

【0048】

透過樹脂材と非透過樹脂材との押圧は、両樹脂材のフランジ部が積層した状態で厚さ方向に圧縮することができる一对の治具を有する押圧部材により行うことができる。すなわち、積層した状態のフランジ部を厚さ方向に圧縮することで、両樹脂部材を圧接できる。

【0049】

押圧部材は、レーザー光源と一体に形成されたことが好ましい。押圧部材とレーザー光源が一体に形成されることで、樹脂材の当接界面に照射されるレーザー光の照射部と押圧部材との間隔を固定することができ、レーザー光を走査したときにレーザー光が押圧部材を照射することを抑えられる。また、レーザー光の照射部と押圧部材の距離を短い距離で固

50

定できる効果を有するため、レーザー溶着に用いられる装置の体格の粗大化を抑えることができる。

【0050】

透過樹脂材のフランジ部の嵌合凸部の形成された表面に背向した表面および／または非透過樹脂材のフランジ部の嵌合凹部の形成された表面に背向した表面に断面凹字状の溝が形成され、レーザー光を照射するときに透過樹脂材と非透過樹脂材を押圧する押圧部材が、溝の内部を走行するローラーを有することが好ましい。

【0051】

両樹脂材の少なくとも一方のフランジ部に断面凹字状の溝が形成され、押圧部材がこの溝の内部を走行するローラーを有することで、レーザー溶着時にレーザー光の走査を容易に行うことができる。すなわち、溝とローラーとがガイドとして機能して、溶着時に両樹脂材がずれることを抑えることができる。

10

【0052】

本発明の溶着方法において、透過樹脂材と非透過樹脂材の当接界面を圧接するときの押圧力は、特に限定されない。すなわち、溶着される透過樹脂材と非透過樹脂材の材質や溶着後に要求される溶着強度によりお適宜決定される。

【0053】

本発明の溶着方法において、非透過樹脂材に用いる樹脂の種類としては、熱可塑性を有し、加熱源としてのレーザー光を透過させずに吸収しうるものであれば特に限定されない。たとえば、ナイロン6 (PA6) やナイロン66 (PA66) 等のポリアミド (PA)、ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、スチレン-アクリロニトリル共重合体、ポリエチレンテレフタレート (PET)、ポリスチレン、ABS、アクリル (PMMA)、ポリカーボネート (PC)、ポリブチレンテレフタレート (PBT)、PPS等に、カーボンブラック、染料や顔料等の所定の着色材を混入したものをあげることができる。なお、必要に応じて、ガラス繊維、カーボン繊維等の補強繊維を添加したものをを用いてもよい。

20

【0054】

透過樹脂材に用いる樹脂の種類としては、熱可塑性を有し、加熱源としてのレーザー光を所定の透過率以上で透過せしめるものであれば特に限定されない。たとえば、ナイロン6 (PA6) やナイロン66 (PA66) 等のポリアミド (PA)、ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、スチレン-アクリロニトリル共重合体、ポリエチレンテレフタレート (PET)、ポリスチレン、ABS、アクリル (PMMA)、ポリカーボネート (PC)、ポリブチレンテレフタレート (PBT) 等を挙げることができる。なお、必要に応じて、ガラス繊維、カーボン繊維等の補強繊維や着色材を添加したものをを用いてもよい。

30

【0055】

レーザー光の種類としては、レーザー光を透過させる透過樹脂材の吸収スペクトルや板厚 (透過長) 等との関係で、透過樹脂材内での透過率が所定値以上となるような波長を有するものが適宜選定される。例えば、ガラス：ネオジウム³⁺レーザー、YAG：ネオジウム³⁺レーザー、ルビーレーザー、ヘリウム-ネオンレーザー、クリプトンレーザー、アルゴンレーザー、H₂レーザー、N₂レーザー、半導体レーザー等のレーザー光をあげることができる。より好ましいレーザーとしては、YAG：ネオジウム³⁺レーザー (レーザー光の波長：1060nm) や半導体レーザー (レーザー光の波長：500～1000nm) をあげることができる。

40

【0056】

レーザー光の波長は、接合される樹脂材料により異なるため一概に決定できないが、1060nm以下であることが好ましい。波長が1060nmを超えると、接合面を互いに熔融させることが困難となる。

【0057】

また、レーザー光の出力は、50～900Wであることが好ましい。レーザー光の出力が

50

50W未満では、出力が低く樹脂材料の接合面を互いに溶融させることが困難となり、900Wを超えると、出力が過剰となり樹脂材料が蒸発したり、変質するという問題が生じるようになる。

【0058】

本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、レーザー光が照射された照射部の近傍において透過樹脂材と非透過樹脂材とを圧接させることで、レーザー光が照射された照射部における透過樹脂材と非透過樹脂材との密着性を確保している。また、本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、一つの溶着工程で溶着不良の発生を抑えられた樹脂部材をレーザー溶着することができる。

【0059】

【実施例】

以下、実施例を用いて本発明を説明する。

【0060】

本発明の実施例として、樹脂材のレーザー溶着を行い、樹脂成形品を製造した。

【0061】

なお、レーザー溶着に用いられるレーザー光は、波長が940nmの半導体レーザーであり、出力は50～900W、加工速度は0.5～5m/minとした。

【0062】

また、レーザー溶着により溶着される樹脂材は、上記レーザー光に対して透過性を有する樹脂よりなる透過樹脂材1と、上記レーザー光に対して透過性のない樹脂よりなる非透過樹脂材2とからなる。

【0063】

透過樹脂材1を構成する樹脂は、ナイロン6ガラス強化材であり、レーザー光に対する透過率が20%以上であった。

【0064】

非透過樹脂材2を構成する樹脂はナイロン6ガラス強化材にカーボンブラックおよび着色材を混入したものであり、レーザー光に対する吸収率は、80%以上であった。

【0065】

すなわち、透過樹脂材1および非透過樹脂材2は、互いに相溶性を有する樹脂よりなっている。

【0066】

ここで、レーザー光に対する透過率は、厚さ3mmの板状に形成された樹脂の厚さ方向にレーザー光を照射し、この樹脂を透過したレーザー光を分光計により測定することで決定された。

【0067】

また、レーザー透過率は、厚さ3mmの板状に形成された樹脂の厚さ方向にレーザー光を照射し、この樹脂を透過したレーザー光を分光計により測定することで決定された。

【0068】

(実施例1)

実施例1は、レーザー光の光線中に線状の溶着樹脂を配して樹脂部材のレーザー溶着を行った例である。本実施例のレーザー溶着の様子を図1～2に示した。

【0069】

透過樹脂材1のレーザー溶着により溶着される当接端部10には、下方に突出する嵌合凸部11が設けられている。この嵌合凸部11は、レーザー光が照射される側の表面11aは透過樹脂材1ののびる方向と略一致する平面状に形成され、背向する表面11bは先端側(下方側)に向かって厚さが薄くなるように傾斜して形成されている。

【0070】

非透過樹脂材2の当接端部20には、上記嵌合凸部11が挿入される嵌合凹部21が設けられている。この嵌合凹部21は、上記嵌合凸部11が挿入可能な断面凹字状に形成されている。そして、上記嵌合凸部11が嵌合凹部21に挿入されたときには、嵌合凹部21

10

20

30

40

50

を形成する一対の対向壁部 21a, 21b のうちの一方の壁部 21b が嵌合凸部 11 の傾斜して形成された表面 11b と一致するように形成されている。そして、嵌合凹部 21 の他方（レーザー光が照射される側）の壁部 21a は、嵌合凸部 11 のレーザー光が照射される側の表面 11a との間に空間が形成できるようにもうけられている。この空間が貯留部 3 となる。そして、嵌合凹部 21 の他方の壁部 21a は一方の壁部 21b よりも低い高さで形成されている。すなわち、レーザー光が照射される側の対向壁部は、反対側の高対向壁部よりも低い高さとなっている。

【0071】

両樹脂材 1, 2 のレーザー溶着は、まず、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 とを所定の位置にセットする。詳しくは、非透過樹脂材 2 の嵌合凹部 21 の一方の壁部 21b の表面に透過樹脂材 1 の嵌合凸部 11 の傾斜した表面 11b が当接するように、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 とをセットする。このとき、嵌合凸部 11 の先端面と嵌合凹部 21 の底面の一部も密着した状態にある。また、両樹脂材 1, 2 の当接面にずれが生じないように、両樹脂材 1, 2 が保持された。

【0072】

そして、両樹脂材 1, 2 の当接界面に上記レーザー光の照射を行った。このとき、レーザー光は、両樹脂材 1, 2 が当接する方向（図 1 および 2 においては鉛直方向）に対して傾斜した角度で照射された。この照射により照射されたレーザー光が透過樹脂材 1 を透過する透過長を短くできる。

【0073】

そして、レーザー光の光線中でありかつ貯留部 3 の鉛直上方の位置に、レーザー光に対して透過性のない樹脂よりなる線状の樹脂ワイヤ 4 を供給した。この樹脂ワイヤ 4 の供給は、レーザー光を発するレーザーヘッド 51 に一体にもうけられた樹脂ワイヤ供給装置 52 を用いて行われた。この樹脂ワイヤ供給装置 52 は、レーザーヘッド 51 から照射されたレーザー光の光線中に連続的に樹脂ワイヤ 4 を供給できる。レーザー光の光線中に配された樹脂ワイヤ 4 はレーザー光のエネルギーを吸収して温度が上昇する。そして、樹脂ワイヤ 4 は溶融し、溶融液 41 が樹脂ワイヤ 4 から落下して、貯留部 3 に貯留される。

【0074】

樹脂ワイヤ 4 は、ナイロン 6 にカーボンブラックおよび着色材を混入してなる。この樹脂ワイヤ 4 は、レーザー光に対する吸収率が 80% 以上であった。

【0075】

また、このとき、樹脂ワイヤ 4 に吸収されないレーザー光は、両樹脂材 1, 2 の当接界面に照射された。当接界面に照射されたレーザー光は、まず、透過樹脂材 1 を透過して非透過樹脂材 2 の表面に到達し、吸収される。そして、透過樹脂材 2 に吸収されたレーザー光はエネルギーとして蓄積される。この結果、非透過樹脂材 2 の当接面が加熱溶融されるとともに、この非透過樹脂材 2 の当接面からの熱伝達により透過樹脂材 1 の当接面が加熱溶融される。

【0076】

この状態で、透過樹脂材 1 及び非透過樹脂材 2 を押圧して、嵌合凹部 21 と嵌合凸部 11 の当接面同士を圧着させて、両者を一体的に接合する。このとき、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 の当接界面に隙間が存在していると、貯留部 3 に滴下した樹脂ワイヤ 4 の溶融液 41 がこの隙間に侵入する。そして、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 の溶着に必要な樹脂が供給される。この結果、当接界面における溶着不良が生じなくなっている。

【0077】

こうして得られた接合部では、接合面同士が溶融されて接合されており、接合面同士の間では両樹脂材を構成する両樹脂が溶融して互いに入り込み絡まった状態が形成されているため、強固な接合状態を構成して高い接合強度及び耐圧強度を有している。

【0078】

また、両樹脂材の当接界面の表面側には、樹脂ワイヤの溶融液が供給されていることから、この溶融液が当接界面の外表面部で凝固して両樹脂材の当接界面が露出しなくなってい

10

20

30

40

50

る。すなわち、両樹脂材がレーザー溶着されてなる樹脂成形体のシール性が向上している。

【0079】

なお、本実施例は、部分的なレーザー溶着において説明したが、図3に示したように、レーザー光を走査させることで連続的にレーザー溶着を行うことができる。このとき、レーザー光の走査は、非透過樹脂材が十分に加熱されかつ、樹脂ワイヤの熔融液が十分に供給できる速度で走査されることができる。

【0080】

本実施例は、一度のレーザー光の照射で溶着不良の発生を抑えることができる効果を示した。

【0081】

(実施例2)

実施例2は、樹脂ワイヤにかえて、粉末状の溶着樹脂を用いてレーザー溶着を行った以外は実施例1と同様な例である。溶着時の様子を図4に示した。

【0082】

本実施例においても実施例1と同様に、透過樹脂材1と非透過樹脂材2との当接界面にレーザーヘッド51からのレーザー光を照射し、このレーザー光中にレーザーヘッド51と一体にもうけられた樹脂粉末供給装置53からの溶着樹脂粉末4'を供給した。ここで、レーザー光中に供給された溶着樹脂粉末4'は、実施例1の樹脂ワイヤ4と同じ樹脂より形成された粉末であり、平均粒径が50μmであった。

【0083】

レーザー溶着時にレーザー光線中に供給された溶着樹脂粉末4'は、レーザー光線を吸収してただちに、貯留部3に熔融状態で落下し、貯留部3に貯留される。そして、実施例1と同様に透過樹脂材1と非透過樹脂材2との当接界面に供給され、両樹脂材1、2を溶着する。

【0084】

実施例2においても、実施例1と同様に溶着不良を生じさせることなく、強固に両樹脂材を溶着できた。

【0085】

なお、本実施例においても、実施例1と同様に、図5に示したように、レーザー光を走査させることで連続的にレーザー溶着を行うことができる。

【0086】

また、

(実施例3)

本実施例は、実施例1および2において溶着された透過樹脂材および非透過樹脂材のそれぞれの当接端部が異なる形態の樹脂材をレーザー溶着した。

【0087】

実施例3の透過樹脂材1は、図7にその断面が示されたように、レーザー溶着により溶着される当接端部10には、レーザー光が照射される側に突出したフランジ部15と、フランジ部15の下方に突出する嵌合凸部16と、が設けられている。この嵌合凸部16は、先端側(下方側)に向かって漸次縮小して突出する略台形状の断面形状をなしている。そして、レーザー光が照射される側の短傾斜側面16aは、反対側の長傾斜側面16bよりも短い長さとされている。また、フランジ部15の嵌合凸部16が突出しない表面には、断面凹字状の溝条(図示せず)が形成されている。

【0088】

また、非透過樹脂材2の当接端部20には、レーザー光が照射される側に突出したフランジ部25と、フランジ部25の表面上に嵌合凸部15と嵌合可能な断面に区画された嵌合凹部26と、が設けられている。この嵌合凹部26は、嵌合凸部16と整合する形状とされ、底面から上方に向かって漸次開口が広がる略台形状の断面形状をなしている。そして、嵌合凹部26を形成する一対の対向壁部26a、26bのうち的一方26aは他方より

も低い高さで形成されている。すなわち、レーザ光が照射される側の低対向壁部 26a は、反対側の高対向壁部 26b よりも低い高さとされている。なお、低対向壁部の内面が、短傾斜側面と当接してレーザ溶着される短傾斜側面となり、高対向壁部の内面が、長傾斜側面と当接してレーザ溶着される長傾斜側面となる。

【0089】

両樹脂材 1, 2 のレーザ溶着は、まず、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 とを所定の位置にセットする。詳しくは、非透過樹脂材 2 の嵌合凹部 26 に透過樹脂材の嵌合凸部 16 を嵌合させた。そして、両樹脂材 1, 2 の当接面にずれが生じないように、両樹脂材 1, 2 が保持された。なお、嵌合凹部 26 に嵌合凸部 16 が嵌合された状態においては、両樹脂部材 1, 2 のフランジ部 15, 25 は積層した状態にある。

10

【0090】

つづいて、レーザ溶着装置を用いてレーザ溶着を行った。

【0091】

本実施例において用いられたレーザ溶着装置は、両樹脂材の当接界面を加熱するレーザ光を照射するレーザヘッド（図示せず）と、レーザヘッドと一体に形成された積層したフランジ部を積層した厚さ方向に圧縮する押圧部材 6 と、を有する。

【0092】

押圧部材 6 は、透過樹脂材 1 のフランジ部 15 を非透過樹脂材 2 方向に押圧するとともにフランジ部 15 に沿って走行するローラー 61 と、非透過樹脂材 2 のフランジ部 25 の嵌合凹部 26 が形成されていない表面を押圧する押圧治具 62 と、を有する。

20

【0093】

本実施例において行われたレーザ溶着を、以下に説明する。

【0094】

まず、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 とを所定の位置にセットする。詳しくは、非透過樹脂材 2 の嵌合凹部 26 に透過樹脂材 1 の嵌合凸部 15 が嵌入されて嵌合凹部 26 の表面と嵌合凸部 16 の表面とが当接するように、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 とがセットされた。

【0095】

そして、透過樹脂材 1 と非透過樹脂材 2 の積層した状態にあるフランジ部 15, 25 にレーザ溶着装置の押圧部材 6 をセットし、フランジ部 15, 25 を押圧する。このとき、ローラー 61 がこの溝条に沿って移動可能な状態で、フランジ部 15 に形成された溝条に押圧部材 6 のローラー 61 がはめ込まれてセットされた。この押圧により、嵌合凹部 26 と嵌合凸部 16 とは密着した。なお、押圧部材 6 による押圧は、嵌合した状態にある嵌合凹部 26 と嵌合凸部 16 との当接界面に隙間が生じない圧力で押圧された。

30

【0096】

両樹脂材 1, 2 のフランジ部 15, 25 が圧縮された状態で、レーザヘッドからレーザ光を照射させる。そして、このレーザ光が照射された状態で、レーザ溶着装置をローラー 61 によりガイドされた状態で走査させた。このレーザ光の照射により、実施例 1 および 2 において生じたように、両樹脂材の当接界面において加熱溶融が生じ、両樹脂材が溶着を生じた。

40

【0097】

以上のように、レーザ光を走査させることで、透過樹脂材と非透過樹脂材とが溶着された。

【0098】

本実施例は、一度のレーザ光の照射で溶着不良の発生を抑えることができる効果を示した。

【0099】

【発明の効果】

本発明の樹脂部材のレーザ溶着方法は、溶着樹脂の熔融液が樹脂材の当接部に供給され、この当接部において熔融液が凝固することで両樹脂材の当接部をシールする。さらに、

50

樹脂材の界面に隙間が生じている時には、この隙間に熔融液が侵入して隙間を埋めることで溶着不良の発生を抑えることができる。すなわち、本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、一つの溶着工程で溶着不良の発生を抑えられた樹脂部材をレーザー溶着することができる。

【0100】

また、本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、レーザー光が照射された照射部の近傍において透過樹脂材と非透過樹脂材とを圧接させることで、レーザー光が照射された照射部における透過樹脂材と非透過樹脂材との密着性を確保している。本発明の樹脂部材のレーザー溶着方法は、一つの溶着工程で溶着不良の発生を抑えられた樹脂部材をレーザー溶着することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1の透過樹脂材と非透過樹脂材とが当接端部において当接した状態を示した図である。

【図2】実施例1においてレーザー光を照射した状態を側方から観測した図である。

【図3】実施例1においてレーザー光を照射した状態を上方から観測した図である。

【図4】実施例1においてレーザー光を照射した状態を示した図である。

【図5】実施例2においてレーザー光を照射した状態を側方から観測した図である。

【図6】実施例2においてレーザー光を照射した状態を上方から観測した図である。

【図7】実施例3の透過樹脂材と非透過樹脂材とが当接端部において当接した状態を示した図である。

20

【図8】実施例3においてレーザー光を照射した状態を上方から観測した図である。

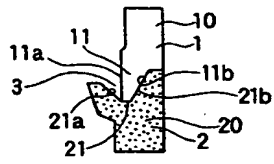
【図9】当接面隙間量と溶着強度の関係を示した図である。

【符号の説明】

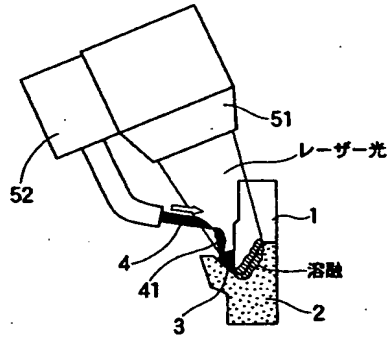
- | | |
|---------------|----------------|
| 1 … 透過樹脂材 | 10 … 当接端部 |
| 11、16 … 嵌合凸部 | 15 … フランジ部 |
| 2 … 非透過樹脂材 | 20 … 当接端部 |
| 21、26 … 嵌合凹部 | 25 … フランジ部 |
| 3 … 貯留部 | |
| 4 … 樹脂ワイヤ | 4' … 溶着樹脂粉末 |
| 41 … 熔融液 | |
| 51 … レーザーヘッド | 52 … 樹脂ワイヤ供給装置 |
| 53 … 樹脂粉末供給装置 | |
| 6 … 押圧部材 | 61 … ロール |
| 62 … 押圧治具 | |

30

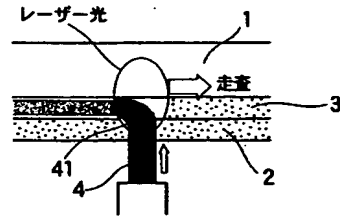
【図 1】



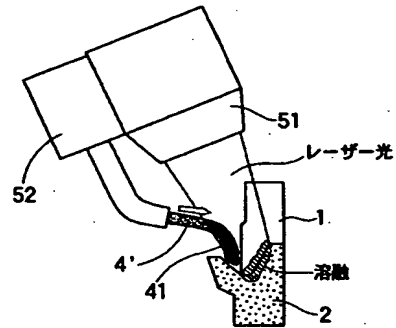
【図 2】



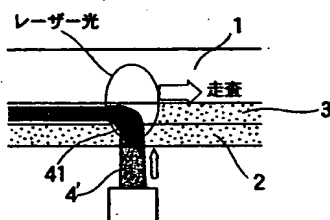
【図 3】



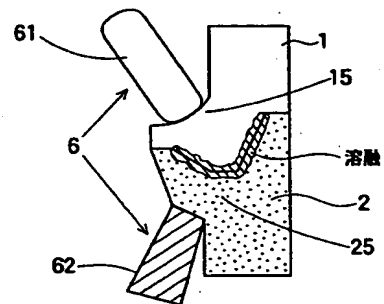
【図 4】



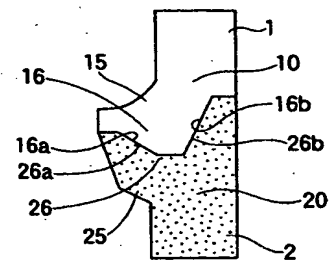
【図 5】



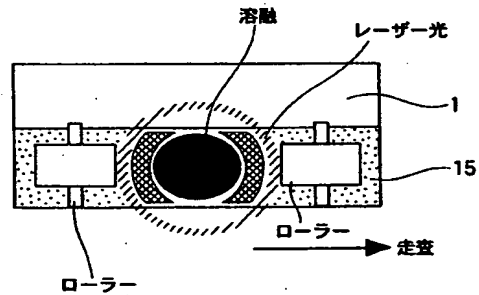
【図 7】



【図 6】



【図 8】



【図 9】

